



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**OBRÁBĚNÍ NA UNIVERZÁLNÍ FRÉZCE VYBAVENÉ
DĚLICÍM PŘÍSTROJEM**

MACHINING ON A UNIVERSAL MILLING MACHINE EQUIPPED WITH A DIVIDER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Nikola Luňáčková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Studentka: **Nikola Luňáčková**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Obrábění na univerzální frézce vybavené dělicím přístrojem

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Dělicí přístroj rozšiřuje možnosti univerzálních obráběcích strojů. Typické případy zachycuje zadané téma.

Cíle bakalářské práce:

- Charakteristika frézování (kinematika, nástroje, stroje).
- Rozdělení frézek.
- CNC frézka.
- Univerzální frézky.
- Univerzální frézky vybavené dělicím přístrojem.
- Dělicí přístroj (použití, proveditelné výrobní procesy, dosahované parametry).
- Výrobky vyráběné dělicím přístrojem.
- Konkrétní výrobek vyrobený na univerzální frézce s dělicím přístrojem (jeho technologie výroby), porovnání s výrobkem vyrobeným na CNC frézce.
- Zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.

MÁDL, Jan et al. Jakost obráběných povrchů. 1. vyd. Ústí nad Labem: UJEP, 2003. 180 s. ISBN 80-7044-639-4.

PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu I. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-72-4283-1.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-72-4283-1.

SHAW, Milton Clayton. Metal Cutting Principles. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2005. P. 651. ISBN 0-19-514206-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá frézováním za pomoci dělicího přístroje. Cílem je seznámit s technologií strojního frézování, její kinematikou, stroji, nástroji a použitím dělicího přístroje. Teoretická část se zabývá strojním frézováním na univerzální frézce vybavené dělicím přístrojem i frézováním za pomoci CNC strojů. Praktická část porovnává tyto dva druhy frézování za pomoci výrobku vyrobeného na CNC frézce a strojní univerzální frézce vybavené dělicím přístrojem, při použití stejných průměrů nástrojů.

Klíčová slova

frézování, CNC frézka, univerzální frézka, dělicí přístroj, využití

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with milling using a dividing device. The aim is to acquaint with the technology of machine milling, its kinematics, machines, tools and about the use of a dividing device. The theoretical part deals with machine milling on a universal milling machine equipped with a cutting device and milling using CNC machines. The practical part compares these two types of milling using a product made on a CNC milling machine and a machine universal milling machine equipped with a cutting device, using the same tool diameters.

Key words

milling, CNC milling machine, universal milling machine, dividing device, utilization

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

LUŇÁČKOVÁ, Nikola. *Obrábění na univerzální frézce vybavené dělicím přístrojem* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132603>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Obrábění na univerzální frézce vybavené dělicím přístrojem** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Nikola Luňáčková

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto svému vedoucímu práce panu Ing. Milanovi Kalivodovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce.

Dále bych chtěla poděkovat Michalovi Malíkovi, který mi pomohl s realizací praktické části bakalářské práce.

Na závěr bych chtěla poděkovat své rodině, příteli a kamarádům za podporu během celého studia.

OBSAH

ABSTRAKT, BIBLIOGRAFICKÁ CITACE	3
PROHLÁŠENÍ	4
PODĚKOVÁNÍ.....	5
OBSAH.....	6
ÚVOD	8
1 CHARAKTERISTIKA FRÉZOVÁNÍ	9
1.1 Kinematika.....	9
1.1.1 Obvodové (válcové) frézování	10
1.1.2 Čelní frézování.....	12
1.2 Stroje a nástroje	13
1.2.1 Nástroje.....	13
1.2.1.1 Rozdělení fréz.....	13
1.2.1 Stroje.....	15
2 ROZDĚLENÍ FRÉZEK.....	16
2.1 Konzolové frézky	16
2.2 Stolové frézky.....	17
2.3 Rovinné frézky.....	17
2.4 Další druhy frézek	18
3 CNC FRÉZKA	20
3.1 Výhody CNC frézek.....	20
3.2 Proveditelné operace	20
3.2.1 Dosažitelné parametry	21
4 UNIVERZÁLNÍ FRÉZKA.....	22
4.1 Příslušenství univerzálních frézek.....	22
4.1.1 Univerzální frézovací hlava (vřeteník).....	22
4.1.2 Svislá frézovací hlava (vřeteník)	23
4.1.3 Otočný stůl	23
4.1.4 Podélný otočný stůl.....	24
4.1.5 Obrážecí hlava.....	24
4.1.6 Dělicí přístroj	24
5 DĚLICÍ PŘÍSTROJ	25
5.1 Dělení obvodu kruhu	25
5.1.1 Dělení přímé	25
5.1.2 Dělení nepřímé	26

5.1.2.1 Výpočet jednoduchého nepřímého dělení	27
5.1.2.1 Výpočet složeného nepřímého dělení	29
5.1.3 Dělení diferenciální	29
5.1.3.1 Výpočet diferenciálního dělení	30
6 UNIVERZÁLNÍ FRÉZKY VYBAVENÉ DĚLICÍM PŘÍSTROJEM.....	31
6.1 Použití dělicích přístrojů k jednoduchým výrobním operacím.....	31
6.1.1 Frézování čelních zářezů	31
6.1.2 Frézování přímých drážek.....	31
6.1.3 Frézování mnohohranů	32
6.2 Zvláštní operace prováděné na univerzálním dělicím přístroji.....	32
6.2.1 Frézování šroubových drážek	32
6.2.2 Frézování ozubených kol	33
6.3 Dosahované přesnosti roztečí	34
7 APLIKACE V PRAXI.....	35
7.1 Výroba obrobku na uni. frézce vybavené dělicím přístrojem	35
7.1.1 Použité nástroje, řezné podmínky	35
7.1.2 Postup výroby	36
7.1.3 Strojní čas	37
7.2 Výroba obrobku na CNC frézce.....	37
7.2.1 Použité nástroje, řezné podmínky	37
7.2.2 Postup výroby	38
7.2.3 Strojní čas	39
7.3 Porovnání metod	39
ZÁVĚR	40
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	41
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	43
SEZNAM OBRÁZKŮ	45
SEZNAM PŘÍLOH	46

ÚVOD

Frézování patří společně se soustružením k nejrozšířenějším druhům obrábění kovů. Frézování patří mezi nejstarší metody třískového obrábění. Jedná se o metodu, při které se materiál obrobku odebírá břity otáčející se frézy a součást koná posuvný pohyb, nejčastěji kolmý k ose nástroje. V dnešní době existuje nespočetné množství nástrojů a strojů, které umožňují frézování jednoduchých i složitějších součástí. Mezi tyto stroje patří i univerzální konzolová frézka, která může mít rozsáhlé příslušenství a tím se výrazně rozšiřují její možnosti obrábění, jedním tímto prvkem je dělicí přístroj.

Dělicí přístroj slouží k frézování obrobků, které mají na obvodu nebo na čele pravidelně či nepravidelně rozmístěné prvky s určitou roztečí. Využívá se u frézování ozubených kol, šroubových drážek, mnohohranů a podobně. Patří mezi nejpoužívanější přídavná zařízení k univerzálním frézám.

Současné stroje jsou vybaveny číslicově řízenými systémy, což umožňuje frézování daleko složitějších součástí než na frézách strojních, jsou vybaveny řadou nástrojů a umožňují práci i ve více osách. CNC frézami neboli obráběcími centry, lze nahradit některé jiné druhy obrábění jako je soustružení, vrtání a broušení. Používají se zejména ve velkosériové výrobě, protože významně snižují strojní čas a zvyšují produktivitu práce.

Cílem této bakalářské práce je seznámit s charakteristikou frézování, nástroji, stroji a jejich příslušenstvím. Práce obsahuje detailní charakteristiku dělicích přístrojů, způsobů dělení, operací prováděných na dělicích přístrojích a jejich přesnosti. Předmětem praktické části je srovnání výroby jednoduché součásti na univerzální frézce vybavené dělicím přístrojem s výrobou na CNC frézce.

1 CHARAKTERISTIKA FRÉZOVÁNÍ

Frézování je strojní třískové obrábění rovinných nebo tvarových ploch, vnitřních nebo vnějších, vícebřítým nástrojem. Běžně probíhá ve třech osách, ve více osách pracují víceosá obráběcí centra.

1.1 Kinematika

Tříska je odebírána vícebřítým nástrojem, který koná hlavní řezný pohyb otáčivý a je definován řeznou rychlostí v_c [1]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [m \cdot min^{-1}] \quad (1.1)$$

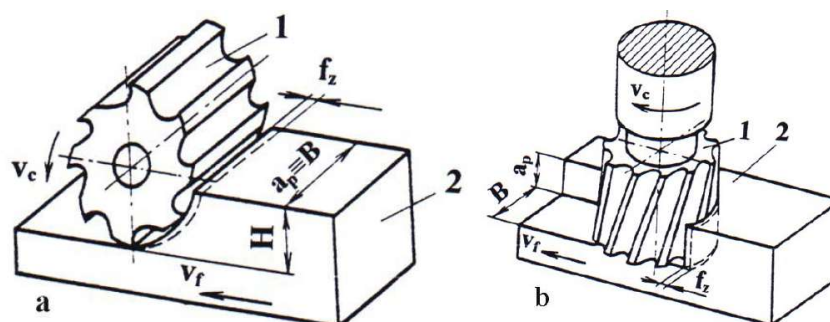
kde $v_c [m \cdot min^{-1}]$... řezná rychlost,
 $D [mm]$... průměr nástroje (frézy),
 $n [min^{-1}]$... otáčky nástroje (frézy).

Vedlejší pohyb koná obrobek, a to obvykle posuvný přímočarý, někdy otáčivý nebo obecný. Vedlejší pohyb v_f závisí na druhu frézy, počtu zubů z a hodnotě posuvu na zub f_z

$$v_f = \frac{f_z \cdot z \cdot n}{1000} \quad [m \cdot min^{-1}] \quad (1.2)$$

Rychlost řezného pohybu je definována, jako vektorový součet řezné rychlosti a posuvové rychlosti [1]

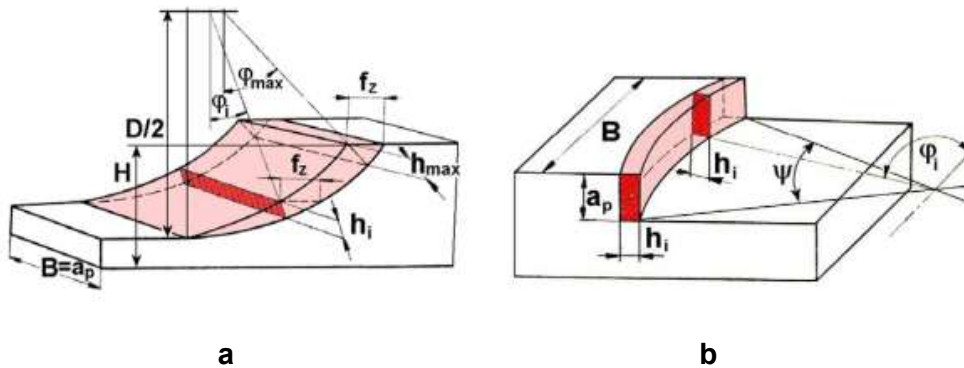
$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad [m \cdot min^{-1}] \quad (1.3)$$



Obr. 1.1 Základní způsoby frézování – kinematika [2].

a – válcové frézování, b – čelní frézování
 1 – fréza, 2 – obrobek, a_p – šířka záběru ostří, B – šířka frézované plochy, H – hloubka odebírané vrstvy

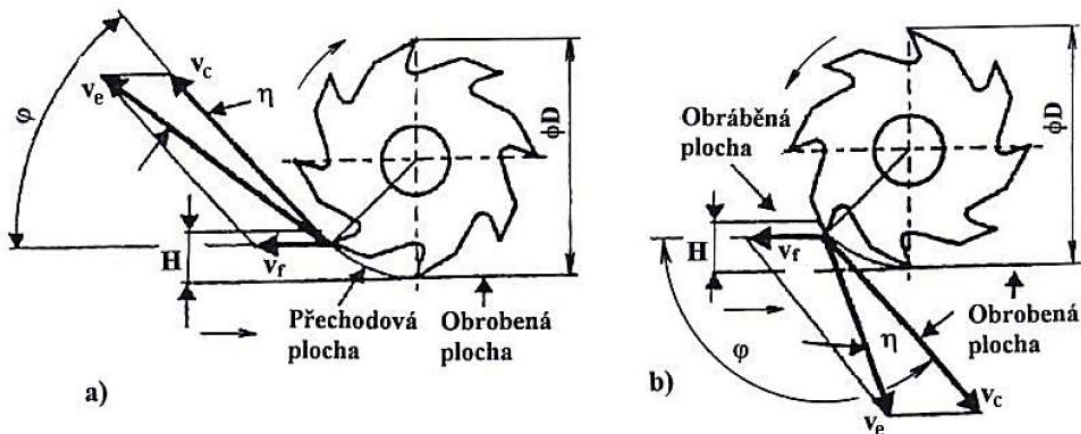
Řezný pohyb frézování je přerušovaný, jednotlivé zuby nástroje postupně vcházejí a vycházejí z materiálu a tím tvoří třísku proměnlivého průřezu (obr. 1.2.) Tvar třísky záleží na způsobu frézování, existují dva základní druhy frézování (obr. 1.1): čelní frézování - čelní frézou a obvodové frézování - válcovou frézou. Z hlediska chvění je výhodné, aby bylo více břitů v záběru [2].



Obr. 1.2 průřez třísky při válcovém frézování (a), průřez třísky při čelním frézování (b) [3].

1.1.1 Obvodové (válcové) frézování

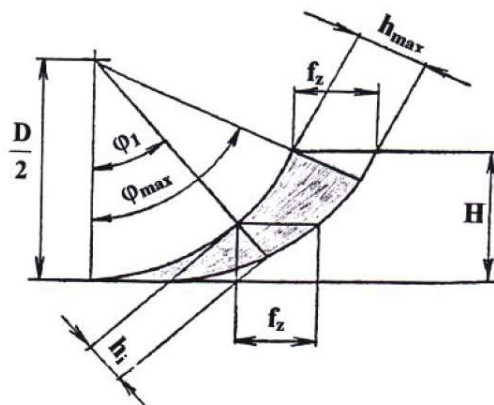
Při obvodovém frézování se používají válcové i tvarové frézy, zuby frézy jsou po obvodu nástroje a jeho osa je rovnoběžná k obráběné ploše. Z hlediska kinematiky se dělí na frézování sousledné a nesousledné.



Obr. 1.3 Kinematika válcového frézování [2].

a – nesousledné frézování, b – sousledné frézování

D – průměr frézy, H – hloubka odebírané vrstvy, v_c – řezná rychlost, v_f – posuvová rychlost, v_e – rychlost řezného pohybu, ϕ – úhel posuvového pohybu, η – úhel posuvového pohybu



Obr. 1.4 Válcové frézování – jmenovitý průřez třísky [2].

Jmenovitý průřez třísky pro i -tý zub se značí A_{Di} a je vyjádřen na základě poměrů naznačených na obrázcích č. 1.1 a 1.4:

$$A_{Di} = h_i \cdot a_p = f_z \cdot a_p \sin \varphi_i \quad [mm^2] \quad (1.4)$$

kde $h_i [mm]$... jmenovitá tloušťka třísky,
 $f_z [mm]$... posuv na zub,
 $a_p [mm]$... šířka záběru ostří,
 $\varphi_i [^\circ]$... úhel posuvového pohybu.

Maximální velikost jmenovitého průřezu třísky nabývá při $\varphi_i = \varphi_{max}$, dosazením do rovnice 1.4 se dostane:

$$A_{Dmax} = h_{max} \cdot a_p = f_z \cdot a_p \sin \varphi_{max} \quad [mm^2] \quad (1.5)$$

$$\sin \varphi_{max} = \frac{2}{D} \sqrt{D \cdot H - H^2}$$

kde $h_{max} [mm]$... maximální jmenovitá tloušťka třísky,
 $\varphi_{max} [^\circ]$... maximální úhel posuvového pohybu,
 $H [mm]$... hloubka odebírané vrstvy,
 $D [mm]$... průměr nástroje (frézy).

Nesousledné frézování

U nesousledného frézování se obrobek posouvá proti směru pohybu zubů frézy, která z něj odebírá třísku. Proměnlivá tloušťka třísky je na začátku záběru minimální a na konci záběru maximální (obr.1.3 a).

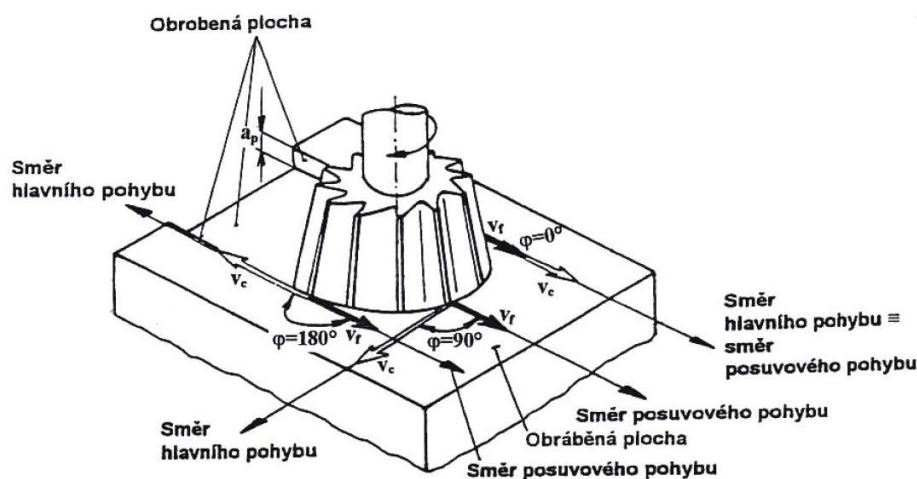
Používání nesousledného frézování má více nevýhod než výhod, mezi ně patří hlavně opotřebení břitu nástroje a zhoršená kvalita obrobce. Hlavní výhodou je menší opotřebení nástroje, konkrétně matice a pohybového šroubu stroje.

Sousledné frézování

U sousledného frézování se obrobek posouvá ve stejném směru pohybu zubů frézy. Průběh proměnlivé tloušťky třísky je opačný než u nesousledného frézování, tj. tloušťka třísky je na začátku záběru maximální a na konci minimální (obr. 1.3 b).

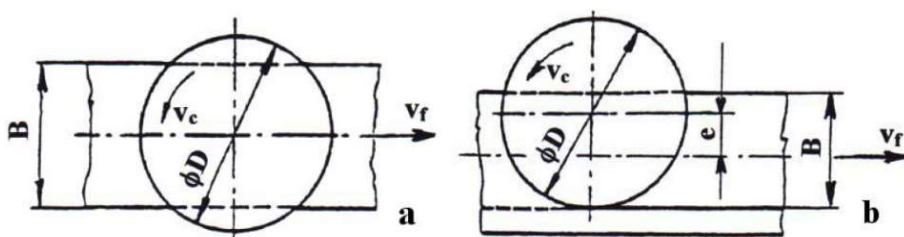
Sousledné frézování se v praxi používá častěji, díky lepší výsledné kvalitě povrchu, vyšší trvanlivosti nástroje a díky menšímu sklonu ke kmitání.

1.1.2 Čelní frézování



Obr. 1.5. Kinematika čelního frézování symetrického [2].

Při čelním frézování se používají čelní frézy. Zuby frézy se nacházejí jak na čele, tak i na obvodu nástroje. Osa nástroje je kolmá k obráběné ploše. Čelní frézování může být prováděno symetricky nebo nesymetricky (obr. 1.6).



Obr. 1.6. Čelní frézování – symetrické (a), nesymetrické (b) [2].

Maximální velikost jmenovitého průřezu třísky nabývá při $\phi_{max} = 90^\circ$; dosazením do rovnice 1.4 se dostane:

$$A_{Dmax} = f_z \cdot a_p \quad [mm^2] \quad (1.6)$$

kde $f_z [mm]$... posuv na zub,
 $a_p [mm]$... šířka záběru ostří.

1.2 Stroje a nástroje

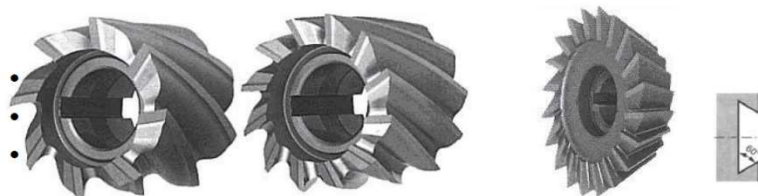
1.2.1 Nástroje

Nástroj koná hlavní řezný pohyb (otáčivý), nazývá se fréza a jedná se o vícebřitý nástroj. Frézy se rozdělují podle různých hledisek, většina z nich je normalizovaná.

1.2.1.1 Rozdělení fréz

- a) Podle ploch, na nichž se nachází ostří se frézy dělí na válcové (a1 uvedená na obr. 1.9, obr. 1.10, obr. 1.11, obr. 1.45 a obr. 1.15) – ostří se nachází na válcové ploše, čelní (a2 uvedená na obr. 1.17, obr. 1.18 a obr. 1.19) – ostří se nachází na čelní ploše a válcové čelní (a3 uvedená na obr. 1.7, 1.8, 1.12, 1.13 a 1.16) – ostří se nachází na válcové i čelní ploše [3].

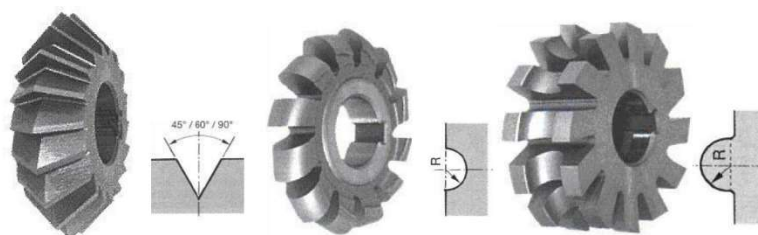
Pozn. Údaj v závorce slouží k rozpoznání fréz na obrázku



Obr. 1.7 [3]
a3, b1, c1, d2, e2, f1, g1, h

Obr. 1.8 [3]
a3, b1, c1, d1, e1, f1, g3, h1

- b) Podle druhu materiálu nástroje se rozlišují frézy z rychlořezné oceli (b1 uvedená na obr. 1.7, obr. 1.8, obr. 1.9, obr. 1.10, obr. 1.11, obr. 1.14 a obr. 1.15), slinutých karbidů (b2 uvedená na obr. 1.12, obr. 1.13, obr. 1.16, obr. 1.17, obr. 1.18 a obr. 1.19), cermetů, řezné keramiky, KNB a PKD [3].



Obr. 1.9 [3]
a1, b1, c1, d1, e2, f1, g3, h1

Obr. 1.10 [3]

Obr. 1.11 [3]
a1, b1, c2, d1, e2, f1, g6, h1

- c) Podle způsobu výroby zubů frézy se rozdělují na frézy s frézovanými zuby (c1 uvedená na obr. 1.7, obr. 1.8, obr. 1.9, obr. 1.10, obr. 1.12 a obr. 1.13) a podsoustruženými zuby (c2 uvedená na obr. 1.11, obr. 1.14 a obr. 1.15) [3].

- Frézy s frézovanými zuby se frézují pomocí kuželových fréz, čelo i hřbet tvoří rovinné plochy a fazetka. Ostření se provádí na hřbetě [3].

- Frézy s podsoustruženými zuby se obrábějí na tzv. podtáčecích soustruzích, čelo je tvořenou rovinnou plochou. Při ostření se profil mění jen nepatrně, proto jsou využívány hlavně pro tvarové frézy. Ostření se provádí na čele [3].

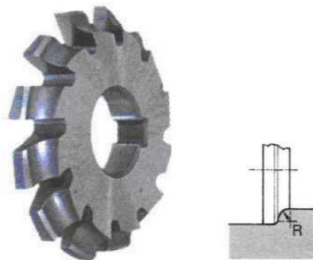


Obr. 1.12 [3]
a3, b2, c1, d2, e3, f1, g4, h2

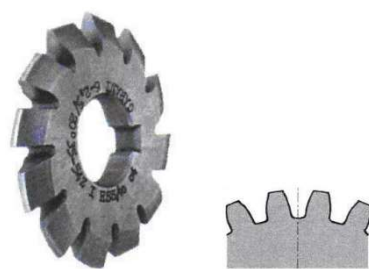


Obr. 1.13 [3]
a3, b2, c1, d2, e3, f1, g5, h2

- d) Podle směru zubů vzhledem k ose rotace se frézy rozdělují na frézy se zuby přímými (d1 uvedená na obr. 1.8, obr. 1.9, obr. 1.10, obr. 1.11, obr. 1.14, obr. 1.15 a obr. 1.19) a frézy se zuby ve šroubovici (d2 uvedená na obr. 1.7, obr. 1.12, obr. 1.13, obr. 1.16, obr. 1.17 a obr. 1.18). Šroubovice může být pravotočivá nebo levotočivá. Výhodou šroubovité drážky je postupné vnikání zubů do záběru, tím je řezný proces klidnější a plynulejší [3].

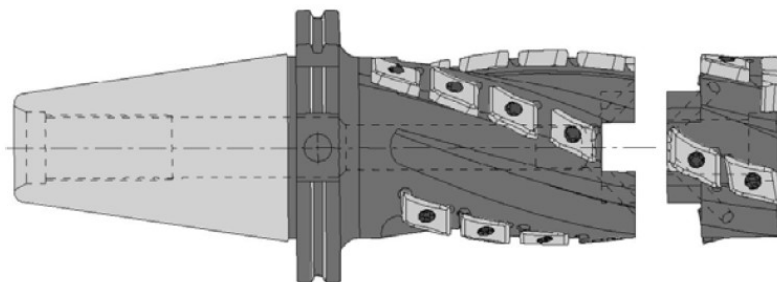


Obr. 1.14 [3]
a1, b1, c2, d1, e2, f1, g6, h1



Obr. 1.15 [3]
a1, b1, c2, d1, e2, f1, g2, g7, h1

- e) Podle počtů zubů vzhledem k ose rotace lze frézy rozdělit na frézy jemnozubé (e1 na obr. 1.18), polohrubozubé (e2 uvedená na obr. 1.9, obr. 1.10, obr. 1.11, obr. 1.14, obr. 1.15 a obr. 1.17) a hrubozubé (e3 uvedená na obr. 1.12, obr. 1.13, obr. 1.16, obr. 1.18, a obr. 1.19). Pro zajištění klidného chodu frézy má být počet zubů takový, aby byly v záběru nejméně dva zuby [3].



Obr. 1.16 [3]
a3, b2, d2, e3, f3, g1, h3

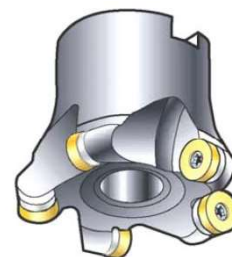
- f) Podle konstrukčního uspořádání se dělí na frézy celistvé (f1 uvedená na obr. 1.7, obr. 1.8, obr. 1.9, obr. 1.10, obr. 1.11, obr. 1.14, obr. 1.15 a obr. 1.17) jejichž těleso i zuby jsou tvořeny jedním materiálem, frézy s vyloženými zuby a frézy s břitovými destičkami (f3 uvedená na obr. 1.16, obr. 1.17, obr. 1.18 a obr. 1.19) [3].



Obr. 1.17 [3]
a2, b2, d2, e2, f3, h1



Obr. 1.18 [3]
a2, b2, d2, e3, f3, h1



Obr. 1.19 [3]
a2, b2, d1, e3, f3, h1

- g) Podle geometrického tvaru funkční části se dělí na válcové (g1 uvedená na obr. 1.7 a obr. 1.16), kotoučové (g2 na obr. 1.15), úhlové (g3 uvedená na obr. 1.8, obr. 1.9 a obr. 1.10), drážkovací (g4 na obr. 1.12), kopírovací (g5 na obr. 1.13), rádiusové (g6 na obr. 1.11), na výrobu ozubení (g7 na obr. 1.15) atd. [3].
- h) Podle způsobu upnutí fréz na stroji se dělí na frézy nástrčné (h1 uvedená na obr. 1.7, obr. 1.8, obr. 1.9, obr. 1.10, obr. 1.11, obr. 1.14, obr. 1.15, obr. 1.17, obr. 1.18 a obr. 1.19), které se upínají na centrální otvor. Frézy stopkové, které se upínají buď za válcovou (h2 uvedená na obr. 1.12 a obr. 1.13) nebo kuželovou stopku (h3 na obr. 1.16) [3].

1.2.1 Stroje

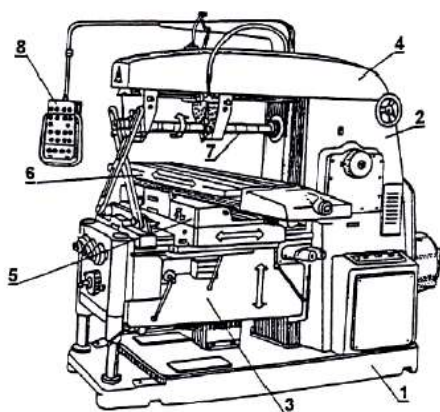
Frézka je obráběcí stroj určený k třískovému obrábění – frézování, tvoří ji tři hlavní části: pracovní stůl používaný k upínání obrobků, vřeteník k upínání nástrojů a stojan. Existuje velké množství druhů frézek, o nichž se pojednává v kapitole 2.

2 ROZDĚLENÍ FRÉZEK

Frézky se rozdělují do čtyř základních skupin a to: frézky konzolové, frézky stolové, rovinné a speciální.

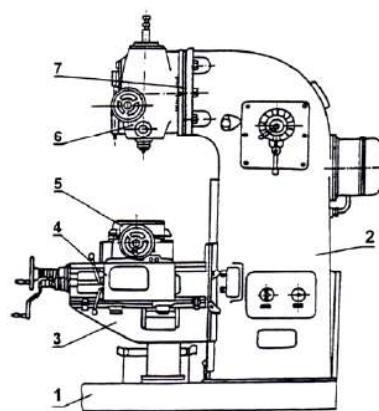
2.1 Konzolové frézky

Konzolové frézky patří mezi skupinu nejrozšířenějších frézek, používají se pro běžné frézování rovinných a tvarových ploch na malých a středně velkých součástech. Mají výškově nastavitelnou konzolu, po které se pohybují příčné saně s podélným pracovním stolem pro upínání obrobku. Díky této kombinaci pohybů se může obrobek upínat ve třech pravouhlých osách vzhledem k nástroji [4].



Obr. 2.1 Vodorovná konzolová frézka [2].

1 – základna, 2 – stojan, 3 – konzola,
4 – rameno, 5 – příčný stůl, 6 – podélný
pracovní stůl, 7 – vřeteno, 8 – ovládací panel



Obr. 2.2 Svislá konzolová frézka [2].

1 – základna, 2 – stojan, 3 – konzola,
4 – příčný saně, 5 – podélný pracovní stůl,
6 – naklápěcí vřeteník, 7 – kruhová základna
vřeteníku

Vodorovné konzolové frézky

Vřeteno je uloženo horizontálně, rovnoběžně s rovinou pracovního stolu. Používají se zejména pro výrobu drážek drážkovacími, tvarovými nebo kotoučovými frézami (obr. 2.1).

Svislé konzolové frézky

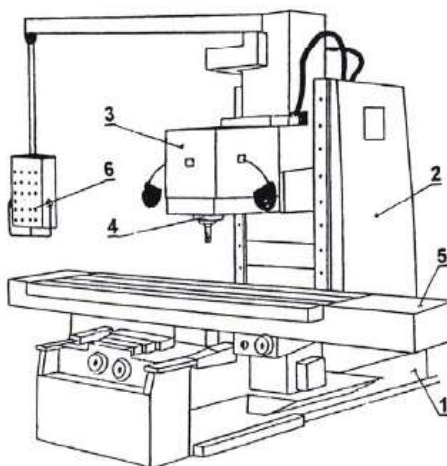
Vřeteno je uloženo vertikálně (kolmo na rovinu pracovního stolu) a otočně kolem vodorovné osy. Používají se pro obrábění rovinných ploch a drážek čelními frézami, stopkovými frézami i frézovacími hlavami (obr. 2.2).

Univerzální konzolové frézky

Konstrukčně podobné vodorovným konzolovým frézám, avšak mají otočný pracovní stůl asi o 45°. Používají se pro výrobu šroubovic za pomoci dělicího přístroje (kap. 4).

2.2 Stolové frézky

Mají svisle nastavitelný vřeteník, pracovní stůl a podélný pracovní stůl jsou uloženy na příčných saních. Rozdělují se na svislé (osa vřetena je svislá) na obr. 2.3 a vodorovné (osa vřetena je vodorovná). Lze na nich obrábět produktivně a zároveň kvalitně velké a těžké součásti.

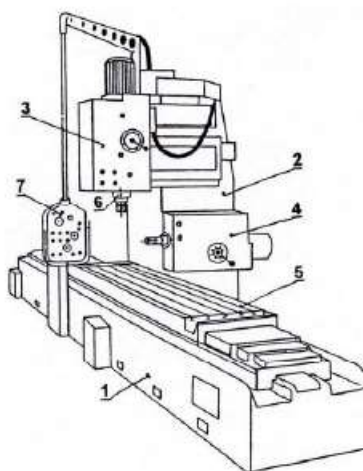


Obr. 2.3 Stolová frézka svislá [2].

1 – základní deska, 2 – stojan, 3 – vřeteník, 4 – vřeteno, 5 – pracovní stůl, 6 – ovládací panel

2.3 Rovinné frézky

Pracovní stůl má pouze jeden stupeň volnosti – pohybuje se pouze v podélném směru po pevném loži. Vřeteník se pohybuje svisle po stojanu frézky a nástroj se pohybuje příčně vysouváním z pinoly. Rovinné frézky se mohou vyrábět s jedním vřeteníkem (obr. 2.4) nebo se dvěma. Používají se pro obrábění robustních součástí zejména frézovacími hlavami, kotoučovými a čelními frézami.



Obr. 2.4 Rovinná frézka [2].

1 – lože, 2 – stojan, 3 – svislý vřeteník, 4 – vodorovný vřeteník, 5 – pracovní stůl, 6 – vřeteno, 7 – ovládací panel

2.4 Další druhy frézek

Mezi další druhy frézek patří: frézky speciální, frézky dělené podle druhu řízení, rovinné portálové frézky, karuselové frézky, nástrojářské, kopírovací (obr. 2.5) apod.



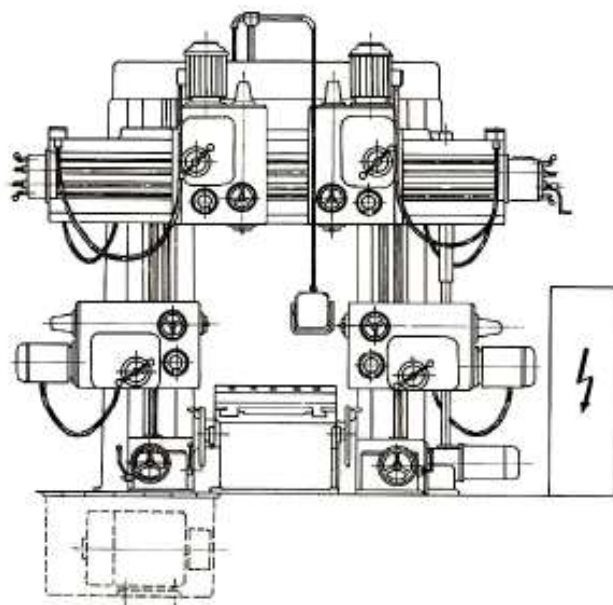
Obr. 2.5. Kopírovací frézka Pilar [5].

Speciální frézky

Používají se pro speciální frézovací procesy, např. frézky na ozubení, závity, drážky, vačky apod.

Rovinná portálová frézka

Portálová frézka (obr. 2.6) má dva stojany, oba spojeny příčným posuvem, obrobek se upíná na pracovní stůl, který koná podélný pohyb. Používají se pro velké a těžké součásti a patří mezi nejvýkonnější frézovací stroje.



Obr. 2.6 Rovinná portálová frézka [2].

Frézky podle druhu řízení

Podle druhu řízení se frézky rozdělují na:

- a) frézky strojní – konzolové, stolové, rovinné, speciální atd.,
- b) NC (Numeric Control) – číslicově řízený stroj,
- c) CNC (Computer Numeric Control) – počítačově řízený stroj (obr. 2.7).



Obr. 2.7 CNC frézka od firmy Raptor [6].

3 CNC FRÉZKA

CNC frézky, nazývané také frézovací obráběcí centra, jsou automatizované stroje určené k obrábění řady různých materiálů. Umožňují provádět řadu různých operací na jedno upnutí a tím výrazně snižují strojní čas. CNC frézky mají zásobník nástrojů s automatickou výměnou a mohou být vybaveny i měřicími sondami [7].

Frézovací centra se používají pro obrábění nerotačních součástí, mohou být v provedení vertikálním nebo horizontálním. Na tomto stroji lze frézovat, řezat, vrtat, řezat závit a mnoho dalších operací. Na horizontálních CNC frézkách se vyrábějí skříňové součásti, ploché a tvarově nepravidelné složité součásti, které by na klasické frézce bylo nemožné nebo velmi obtížné vyrobit. U vertikální CNC frézky lze frézovat součásti pouze z jedné strany, pro opracování součástí z více stran je nutné vybavit stroj vhodnými upínacími zařízeními, která umožní polohovat součást nebo použít naklápěcí otočnou frézovací hlavu [7].

CNC frézky se dodávají v mnoho provedeních, dle požadavků zákazníka. Liší se konstrukcí, druhem materiálu obrobku, rozměry, počtem os a dalšími parametry.

3.1 Výhody CNC frézek

Obráběcí centra mají mnohé výhody. Jejich hlavním úkolem je snížit závislost na obsluze stroje a tím zvýšit produktivitu práce. Mezi výhody obráběcích center patří [7, 6]:

- zvýšení produktivity práce zkrácením vedlejších a přídatných časů,
- automatické polohování,
- šetří čas a náklady na jedno obrobení,
- frézování složitých tvarů,
- víceosá provedení 3 až 5 os,
- automatická výměna nástrojů,
- nastavení optimální řezné rychlosti a plynulá změna otáček,
- snížení četnosti a náročnosti manipulačních úkonů,
- snížení nároků na přípravky a další výrobní pomůcky,
- zvýšení přesnosti obráběných součástí,
- lepší úprava povrchů a kvality obrábění,
- zjednodušení řízení výrobního procesu.

3.2 Proveditelné operace

CNC frézka pracuje na stejném principu jako frézka strojní s rozdílem v jejím řízení, lze na ni tedy provádět všechny operace, které lze provést na frézce strojní.

Jelikož CNC frézka umožňuje svou konstrukcí frézování i složitých časově náročných obrobků, používá se při výrobě nástrojů, přípravků, součástí do jednoúčelových strojů, forem, vačkových hřídelí, motorů apod.



Obr. 3.1 Součást frézovaná na CNC frézce [8].

3.2.1 Dosažitelné parametry

CNC frézka disponuje vysokou tuhostí stroje a možností vysokých otáček pracovního vřetena, díky tomu nedochází k téměř žádnému chvění stroje. Vzhledem k absenci chvění lze obrábět povrchy se stupni přesnosti IT6 až IT7 a kvalitou povrchu $Ra\ 0,4\mu m$ až $Ra\ 1,6\mu m$, povrchy s těmito parametry se obvykle získávají dokončováním obrobku neboli jemným frézováním. Jemné frézování se charakterizuje vysokou řeznou rychlostí, odebíráním malého průřezu třísky a malou hloubkou řezu [9].

4 UNIVERZÁLNÍ FRÉZKA

Kapitola 2 uvádí podobnost, že se univerzální frézky podobají malým konzolovým frézám. Používají se pro drobné, obtížné a přesné frézovací operace, ale také pro vyvrtávání, obrážení, k výrobě nástrojů, šablon apod. Svislé sáně podélného stolu přestavují na vedení stojanu, upínací plocha je svislá, příčný posuv je vykonáván saněmi vřeteníku. Velký rozsah otáček umožňuje obrábění všech běžných materiálů. Tuhost stroje umožňuje dosáhnout velké přesnosti obrobeného povrchu při využití nástrojů z rychlořezné oceli i slinutých karbidů [10].



Obr. 4.1 Univerzální nástrojářská frézka TOS FNGJ 40 [11].

4.1 Příslušenství univerzálních frézek

Univerzální frézky se pyšní velkým obsahem příslušenství a mnohými přídatnými zařízeními, které umožňují dále rozšířit frézovací operace nebo usnadňují výrobní proces. Mezi ně patří sklopný (otočný) stůl nastavitelný ve třech rovinách, podélný otočný stůl, dělicí přístroj, univerzální frézovací hlavy apod.

4.1.1 Univerzální frézovací hlava (vřeteník)

Univerzální frézovací hlava (obr. 4.2) se připevňuje na čelní plochu stojanu. Používá se nejčastěji u frézek s vodorovným vřetenem. Může se natáčet kolem dvou os vzájemně na sebe kolmých (vodorovné a svislé) a to o 360° , díky tomu je možné nastavit frézu do libovolné polohy a obrábět tak i méně přístupné plochy. Snadné nastavení vřeteníku umožňují úhlové stupnice na obou jeho přírubách. Umožňuje nám provádět více operací na jedno upnutí a tím zvyšuje rozměrovou přesnost a produktivitu práce. Využívá se u frézování menších součástí, pomocí univerzální frézovací hlavy lze také frézovat ozubené hřebeny, a to za pomoci dělicího přístroje. Na univerzální frézce lze pomocí tohoto vřeteníku obrábět šroubovitě drážky se stoupáním do 45° , frézovat šroubová ozubená kola a další jiné operace [10].



Obr. 4.2 Univerzální frézovací hlava TOS HUI 50 [12].

4.1.2 Svislá frézovací hlava (vřeteník)

Na strojích vybavených svislou frézovací hlavou lze vykonávat práce, které se jinak provádí na svislé frézce – frézování klínových drážek a jiných drážek. Vřeteník lze natáčet kolem vodorovné osy (ve svislé rovině) na obě strany o 45° , pomocí úhlové stupnice na přírubě vřeteníku. Upíná se obdobně jak univerzální frézovací hlava [10].

4.1.3 Otočný stůl

Otočný stůl se připevňuje na pracovní stůl frézky pomocí upínek, otáčejí se ručně nebo strojně. Umožňuje frézování rotačních ploch, segmentů a drážek. Slouží k upínání a polohování obrobků na jednotlivých strojích, mohou být vybavené děličkou. Oproti soustruhu lze pomocí otočného stolu frézovat pouze část obvodu. Natáčí se pomocí stupnice se stupňovým dělením o 360° [10].



Obr. 4.3 Otočný stůl model HHT-150 ST COM s. r. o. [13].

4.1.4 Podélný otočný stůl

Upíná se obdobně jako otočný stůl, používá se v sériové výrobě pro upevnění upínacích přípravků na konci stolu. Zatímco na jednom konci stolu se upnutý obrobek obrábí, tak na druhém konci se obrobek upíná, po obrobení obrobku se stůl otočí o 180° a obrábí se druhý obrobek. Lze tak výrazně zkrátit strojní čas a frézování probíhá téměř nepřetržitě [10].

4.1.5 Obrážecí hlava

Upíná se obdobně jako frézovací hlava, je nedílnou součástí vybavení nástrojářských frézek. Umožňuje obrážet ve svislém, vodorovném i šikmém směru díky možnosti pootáčení.



Obr. 4.4 Obrážecí hlava na frézu FNGJ 20 [14].

4.1.6 Dělicí přístroj

Umožňuje pootáčení obrobku (dělení) o určitou rozteč nebo úhel. Využívá se při frézování drážkovaných hřídelů, ozubených kol, čtyřhranů, šestihranů (kapitola 5).

5 DĚLICÍ PŘÍSTROJ

Dělicími přístroji jsou nazývány mechanické dělicí pomůcky, jimiž se dělí obvod kruhu na omezený nebo libovolný počet dílů [15].

Používá se při frézování, broušení, vrtání atd. mají-li se vyfrézovat prvky (zářezy, drážky, díry) ve stejných vzdálenostech-dělicí přístroj rozdělí jejich obvody na požadovaný počet dílů, lze jim také frézovat dokulata.

Skládá se z upínacího a dělicího zařízení. Obrobek je upnut přímo na lícni desku, přímo do sklíčidla vřetena přístroje anebo mezi hrot koníku a vřeten. Dělicí přístroj a jeho koník jsou vždy upnuty na stole frézky.

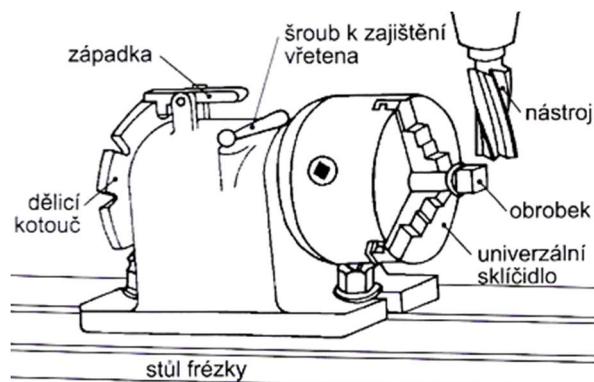
5.1 Dělení obvodu kruhu

Dělením obvodu kruhu se rozumí postupné pootáčení obrobku tak, aby se na jeho povrchu mohl vyfrézovat určitý počet drážek nebo plošek s pravidelnými či nepravidelnými roztečemi. Dělicí krok (rozteč) je vzdálenost jedné drážky od druhé, počet dělicích kroků je nazýván dělením.

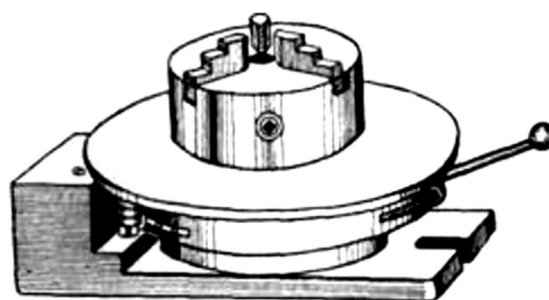
Na volbu dělicího přístroje má rozhodující vliv požadovaná přesnost, počet různých prací a strojní čas. Rozeznávají se dva druhy dělicích přístrojů:

- Dělicí přístroje s dělicím kotoučem přímo na dělicím vřetenu (tzv. západkový kotouč) – kotouč lze nastavit "přímo" na rozteč [15].
- Dělicí kotouče, kterými lze nezávisle na dělicím kotouči dělit libovolně v pravidelných nebo nepravidelných roztečích. Podle toho rozeznáváme dělení přímé, nepřímé a diferenční [15].

5.1.1 Dělení přímé



Obr. 5.1 Dělicí přístroj pro přímé dělení se západkovým kotoučem [16].



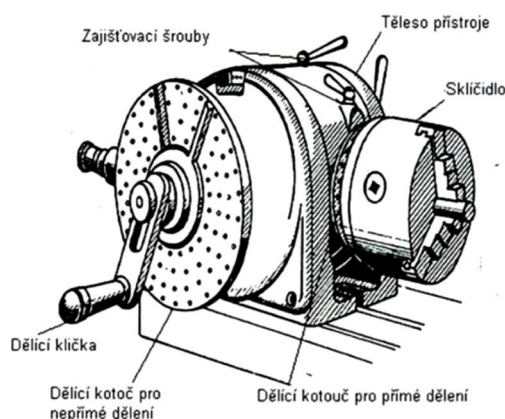
Obr. 5.2 Svislý ruční dělicí přístroj pro přímé dělení [15].

U přímého dělení se požadované rozteče na obrobku dosáhne pomocí přímo vyměnitelného dělicího kotouče. Kotouč obsahuje obvykle 24 děr do kterých zapadá západka nebo kolík.

Přímým dělením lze dosáhnout jen takových roztečí, pro které jsou vyhovující kotouče. Umožňuje dělení na 24, 12, 8, 6, 4, 3 a 2 díly. Počet roztečí je tedy dán celým číslem, které musí být násobkem děr daného kotouče, jedná se tedy o dělení beze zbytku [15].

Nejjednodušší přístroj k přímému dělení je ruční dělicí přístroj zobrazený na obrázku 5.1, který se používá pro obrábění obrobků, na nichž se má vyfrézovat určitý počet plošek nebo drážek rovnoběžných s osou obrobku. Volí se k frézování čtyřhranů, šestihranů, drážek na hřídeli a nástrojích, u nichž se nevyžaduje velká přesnost dělení. Používá se v kombinaci s vodorovnými frézky a pro malý počet roztečí.

Dalším přístrojem k přímému dělení je svislý dělicí přístroj zobrazený na obrázku 5.2, používá se pro obrobky, jenž mají obráběnou plochu kolmou ke své ose. Dělení je při použití kotouče s broušenými ploškami velmi přesné, přístroj se dá ovládat jednou rukou a je vhodný k použití v hromadné výrobě.



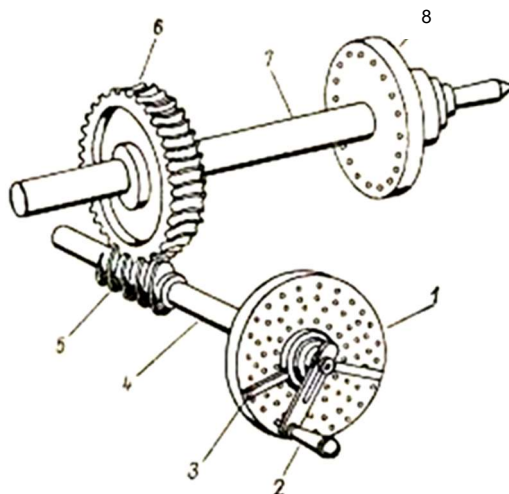
Obr. 5.3 Univerzální dělicí přístroj [15].

Lze také použít i univerzální dělicí přístroje (obr. 5.3) k němu patří výškově přestavitelný koník s naklápěcím hrotem, který umožňuje frézování kuželových obrobků. Upínají se na pracovní stůl frézky. Šnekové soukolí je u přímého dělení vyřazeno ze záběru. Tento dělicí přístroj je využívám spíše u nepřímého dělení [15].

5.1.2 Dělení nepřímé

Nepřímé dělení se od dělení přímého liší zařazením převodového ozubeného soukolí, které se skládá z šneku a šnekového kola s převodovým poměrem 1:40 (obr. 5.4). Dělicího pohybu se dosahuje dělicí klikou, jež je spojena s hřídelí šneku. Do dírek na dělicím kotouči zapadá kolík, který zajišťuje správné nastavení rozteče a je uložený v rukojeti dělicí kliky. Dělicí kotouč se udržuje ve své poloze západkovým čepem. Na roztečných kružnicích bývá počet dírek obr. 5.5 [15]:

1. 15, 16, 17, 18, 19, 20;
2. 21, 23, 27, 29, 31, 33;
3. 37, 39, 41, 43, 47, 49.



Obr. 5.4 Schéma mechanismu dělicího stroje [17].

1-dělicí kotouč, 2-dělicí klika, 3-stavitelná ramena, 4-dělicí hřídel, 5-šnek, 6-šnekové kolo, 7-pracovní vřeteno, 8-dělicí kotouč pro přímé dělení



Obr. 5.5 Nepřímé dělicí zařízení IT 150 [18].

5.1.2.1 Výpočet jednoduchého nepřímého dělení

Nepřímé jednoduché dělení, lze uskutečnit v každém postavení vřetene. Jedná se o nejpoužívanější dělení a lze jím dosáhnout velkého počtu roztečí, s výjimkou prvočísel. Používá se také při frézování šroubových drážek [12].

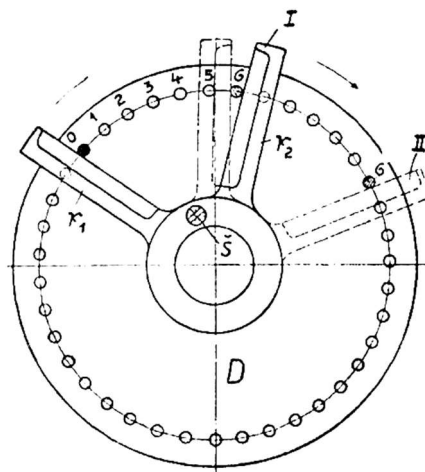
Pro výpočet otáček dělicí kliky při jednoduchém nepřímém dělení platí vztah:

$$n_k = \frac{n_v}{t} \quad [-] \quad (5.1)$$

kde n_k	... počet otáček dělicí kliky pro jednu rozteč,
n_v	... počet otáček dělicí kliky pro jedno otočení dělicího vřetena,
t	... počet určených roztečí.

Potřebný počet dírek odečteme na dělicím kotouči použitím vidlice s rameny r_1 a r_2 , ty rozevřeme tak jak určí předběžný výpočet (příklady výpočtu). Pro nepřímé dělení je zpracována tabulka, pro zjednodušení výpočtu. Tabulka je součástí manuálu dělicího přístroje.

Postup při dělení je následující: kolík dělicí kliky je zasunut do dírky označené nulou u ramene r_1 , rameno r_2 se nachází v poloze I – pootočení kliky o počet otáček uvedený ve výsledném čitateli zlomku. Kolík se vysune z uvedené dírky a otočí se o požadovaný oblouk (na obr. 5.6 - díрка 6). Ramena musí být rozevřena tak, aby mezi sebou svírala požadovaný počet roztečí, tzn. počet dírek musí být o 1 větší. Takto seřízené rozevření se pojistí přitažením šroubu š. Následně se kolík přesune do dírky určující požadovaný počet roztečí a pootočí se klikou o další otáčku, rameno r_1 se zarazí na kolíku (v dírce 6) a poloha II ramena r_2 určuje polohu, do níž přijde kolík v příštím dělení [19].



Obr. 5.6 Ramena na dělicím kotouči [19].

Příklady výpočtu

- Počet určených roztečí $t = 6$, tedy

$$n_k = \frac{n_v}{t} = \frac{40}{6} = 6 \frac{4}{6} = 6 \frac{12}{18}$$

K nastavení jedné rozteče bude potřeba 6 celých a 4/6 otáček dělicí kliky. To znamená, že po 6 otáčkách kliky musí být pootočená ještě o 4/6 otáčky ve smyslu jejího otáčení, toho dosáhneme pomocí dělicího kotouče, který obsahuje kružnici s 18 dírkami, podle které otočíme kliku o dalších 12 dírek. Kotouč s 18 dírkami je používán, protože se jedná o nejbližší větší počet dírek větších než 6, počet dírek (12), o něž je dělicí klika pootočená je určen čitatelem ve zlomku [12].

- Počet určených roztečí $t = 26$, tedy

$$n_k = \frac{n_v}{t} = \frac{40}{26} = 1 \frac{7}{13}$$

Jelikož na dělicím kotouči roztečnou kružnici se 13 dírkami musíme 7/13 otáčky vynásobit celým číslem, abychom dostali nejbližší vyšší počet dírek, který je na dělicím kotouči:

$$n_k = 1 \frac{7}{13} \cdot \frac{3}{3} = 1 \frac{21}{39}$$

Na dělicím kotouči s 39 dírkami na roztečné kružnici tak snadno dosáhneme dalšího pootočení o 21 dírek [15].

5.1.2.1 Výpočet složeného nepřímého dělení

Jedná se o kombinovaný dělicí způsob, při němž se dělí na dvou různých dělicích kotoučích. Dělicí klikou se může otáčet buďto ve smyslu souhlasném nebo opačném, takže se tyto pohyby kliky mohou sčítat nebo odečítat. Tato metoda se téměř nepoužívá, kvůli složité manipulaci a velkým nepřesnostem při dělení.

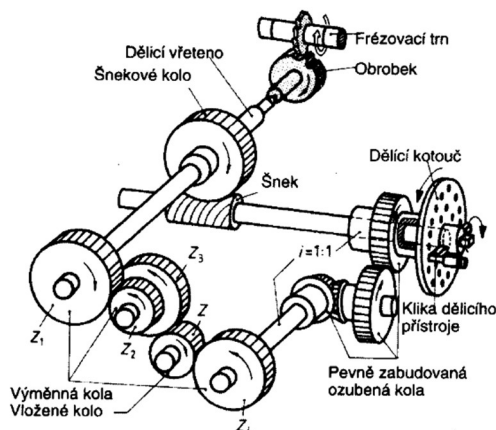
Pro výpočet nepřímého složeného dělení platí vztah:

$$n_k = \frac{n_v}{t} = \frac{a}{t} \pm \frac{b}{t} \quad [-] \quad (5.2)$$

kde n_k	... počet otáček dělicí kliky pro jednu rozteč,
n_v	... počet otáček dělicí kliky pro jedno otočení dělicího vřetená,
t	... počet určených roztečí,
a, b	... počet roztečí na dělicích kotoučích.

5.1.3 Dělení diferenciální

Je používáno, tam kde nelze rozdělit obvod kruhu nepřímým dělením, zejména v případech je-li počet roztečí prvočíslem a dělicí kotouč nemá tolik děr. Dělicí klikou se dělí na menší nebo větší počet dílů, než se požaduje a rozdíl neboli difference se vyrovná současným natočením dělicího kotouče buď ve směru pohybu dělicí kliky nebo směru opačném. Toto natočení je umožněno díky vloženým ozubeným kolům, jež se upevňují na lyru a dělicí kotouč s dělicím vřetenem obr. 5.7. Lze ho tedy použít při dělení na libovolný počet roztečí. Avšak nelze ho použít při výrobě šroubovitě drážky a při vyklonění vřeten univerzálním dělicím přístrojem.



Obr. 5.7 Schéma převodů při diferenciálním dělení [20].

5.1.3.1 Výpočet diferenciálního dělení

- Počet otočení kliky:

$$n_k = \frac{n_v}{t'} \quad [-] \quad (5.3)$$

- převodový poměr ozubení:

$$i = \frac{n_v \cdot (t' - t)}{t'} \quad [-] \quad (5.4)$$

- převodový poměr se zároveň rovná:

$$i = \frac{z_1 \cdot z_2}{z_3 \cdot z_4} \quad [-] \quad (5.5)$$

- z toho vyplývá vztah:

$$\frac{z_1 \cdot z_2}{z_3 \cdot z_4} = \frac{n_v \cdot (t' - t)}{t'} \quad [-] \quad (5.6)$$

kde	n_v	... počet otáček dělicí kliky pro jedno otočení dělicího vřetena,
	t'	... zvolená rozteč (volí se nejbližší hodnota rozteče na dělicím kotouči),
	t	... určená rozteč,
	z_{1-4}	... počty zubů přídatných ozubených kol.

Příklad výpočtu:

- Počet určených roztečí $t = 11$, sada ozubených kol s počtem zubů: 2x20, 25-125 po 5, 127.

Nejbližší hodnota rozteče na dělicím kotouči $t'=10$, tedy

$$n_k = \frac{40}{t'} = \frac{40}{10} = 4$$

$$i = \frac{n_v \cdot (t' - t)}{t'} = \frac{40 \cdot (10 - 11)}{10} = -\frac{40}{10} = -4$$

$$i = \frac{40}{10} = \frac{80 \cdot 60}{40 \cdot 30} = \frac{z_1 \cdot z_2}{z_3 \cdot z_4}$$

Při výrobě se dělicí klikou otočí o 4 otáčky. Záporné znaménko nám v případě složeného zlomku značí, směr otočení difference (proti směru pohybu dělicí kliky). Z přiložené sady ozubených kol volím kola s počty zubů $z_1=80$, $z_2=60$, $z_3=40$ a $z_4=30$. Pro diferenciální dělení je zpracována tabulka, pro zjednodušení výpočtu. Tabulka je součástí manuálu dělicího přístroje.

6 UNIVERZÁLNÍ FRÉZKY VYBAVENÉ DĚLICÍM PŘÍSTROJEM

Tato kapitola se bude zabývat jednotlivými operacemi, které lze provádět na frézce vybavené dělicím přístrojem. V první části této kapitoly budou uvedeny jednoduché výrobní operace prováděné na univerzální frézce vybavené dělicím přístrojem, v druhé části pak operace složitější. V třetí části této kapitoly bude zmíněno něco málo o dosahované přesnosti, při tomto druhu frézování.

6.1 Použití dělicích přístrojů k jednoduchým výrobním operacím

Při frézování existuje řada jednoduchých operací, které vyžadují použití dělicích přístrojů. Jedná se například o frézování čelních nebo obvodových zářezů, drážek, frézování čtyřhranů a šestihranů apod.

6.1.1 Frézování čelních zářezů

Tyto operace se zpravidla provádějí na vodorovných konzolových frézách. Jedná se většinou o zářezy na čelních plochách hřídelů, matic (obr. 6.1), čepů apod., které procházejí osou obráběné součásti a mají pravidelnou rozteč.



Obr. 6.1 Korunová matice s čelními drážkami [21].

Obrobek se upne do sklíčidla univerzálního dělicího přístroje (může být použit i svislý dělicí přístroj), ten se upne na pracovní stůl frézky. Zářezy se frézují kotoučovou frézou nastavenou na osu obrobku. Po vyfrézování jedné drážky do plné hloubky se otočí dělicí kličkou o potřebnou rozteč a frézuje se další drážka. Širší drážky se frézují na dva a více záběrů, tj. každým záběrem jednu stranu drážky, využívá se k tomu příčný posuv stolu.

V hromadné a sériové výrobě se používají upínací přípravky, které šetří strojní čas a přispívají k vysoké produktivitě práce [10].

6.1.2 Frézování přímých drážek

Drážky se frézují na válcových i kuželových plochách, jedná se především o frézování drážek u fréz, závitníků, drážkovaných hřídelů a rohatek, na vodorovných konzolových frézách. Obrobek je upínán buď přímo do vřetena dělicího přístroje nebo mezi hrot dělicího vřetena a koníku [příručka frézaře]. Při frézování na kuželových plochách se vřeteno nakloní o úhel odpovídající sklonu povrchové přímky. Pro upnutí mezi hroty se používá výškově nastavitelný naklápěcí koník.

Hloubka drážky se nastaví svislým přestavením konzoly stolu, který při frézování drážky vykonává podélný posuv do záběru. Po vyfrézování jedné drážky se stůl vrátí do výchozí pozice a obrobek se pootočí o další rozteč pomocí dělicího přístroje.

6.1.3 Frézování mnohohranů

Mnohohrany se frézují čelní frézou na svislé frézce (obr. 6.2) nebo válcovou frézou na vodorovné frézce. Obrobek se upíná mezi hroty dělicího přístroje a podpěrného koníku. Použití podpěrného koníku není pravidlem, využívá se především při frézování dlouhých součástí. Plochy se frézují postupně pomocí podélného posuvu pracovního stolu, hloubky záběru se dosáhne přenastavením konzoly stolu. Podle počtu hran se obrobek pootáčí dělicí klikou vždy o danou rozteč za použití dělicího kotouče.



Obr. 6.2 Frézování mnohohranu na svislé frézce [17].

6.2 Zvláštní operace prováděné na univerzálním dělicím přístroji

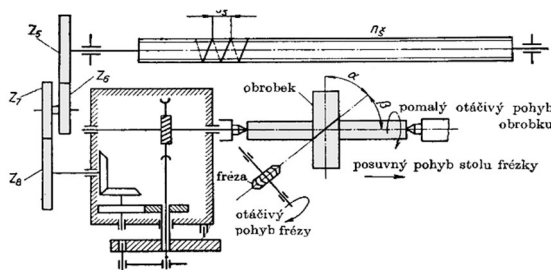
Kromě jednoduchých operací lze na dělicím přístroji provádět operace složitější. Univerzální dělicí přístroj se pyšní mnohými proveditelnými složitými operacemi, mezi ně například patří frézování šroubových drážek a mimo jiné také frézování ozubených kol.

6.2.1 Frézování šroubových drážek

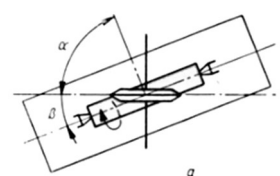
Šroubovitá drážka (závit) vznikne složením rovnoměrného otáčivého pohybu obrobku kolem své osy a přímočarého pohybu ve směru osy. Na univerzálních frézkách vybavených dělicím přístrojem se frézují krátké závity, dlouhé závity se frézují na speciálních frézkách na závity. Pro frézování šroubových drážek se používají kotoučové nebo hřebenové frézy, avšak lze použít i odvalovací a kopírovací způsob výroby závitů.

Dělicí přístroj se připojí na posuvový šroub podélného posuvu stolu pomocí ozubených převodů (obr. 6.3). Pracovní stůl frézky se natočí z normální polohy o úhel šroubovice β (obr. 6.4). Obrobek je upnut na vřetenu dělicího přístroje a otáčí se rychlostí odpovídající posuvu. Fréza se při frézování posouvá ve směru osy obrobku, rychlost jejího posuvu je taková, aby se za jednu otáčku obrobku posunula o hodnotu stoupání šroubovice.

Univerzální frézky obvykle dovolí pootočení pracovního stolu o 45° , v případě menšího úhlu šroubovice, který by vyžadoval větší úhel natočení se musí použít univerzální frézovací hlavy. Pro usnadnění frézování šroubovitých drážek, jsou uvedené potřebné údaje v manuálu každého dělicího přístroje.



Obr. 6.3 Schéma zapojení dělicího přístroje pro frézování šroubovitě drážky [10].



Obr. 6.4 Natočení pracovního stolu při frézování pravé šroubovice [10].

6.2.2 Frézování ozubených kol

Ozubená kola se pomocí dělicího přístroje mohou frézovat dvěma způsoby. Prvním z těchto způsobů je frézování kotoučovou frézou s podtáčenými zuby, s břity tvaru zubové mezery (obr. 6.5). Kola se stejným modulem, ale různým počtem zubů nemají stejný tvar zubové mezery, proto se tyto frézy vyrábějí pro určitá rozmezí počtu zubů. Obrobek je upnut v dělicím přístroji, po vyfrézování první zubové mezery se pootočí dělicím přístrojem o jednu rozteč a frézuje se další zubová mezera. Nevýhody tohoto druhu frézování jsou malé přesnosti profilů zubů, rozteč zubů je nerovnoměrná, pořizovací cena nástroje je poměrně vysoká a produktivita práce není příliš velká. Tento způsob se používá zejména pro výrobu čelních přímých ozubených kol, ovšem lze takto frézovat i ozubená kola se šikmými zuby, pootočením stolu frézky.



Obr. 6.5 Frézování ozubení kotoučovou frézou za pomoci dělicího přístroje [17].

Druhým způsobem výroby ozubených kol za použití dělicího přístroje je frézování stopkovou frézou. Tento způsob funguje na stejném principu jako frézování ozubených kol pomocí kotoučové frézy. Tvar zubové mezery je při stejném modulu, ale při různých počtech zubů různý, proto se vyrábí pro určitá rozmezí počtu zubů obdobně jako u fréz kotoučových. Stopkovou frézou se vyrábějí kola se šípovými zuby. Nevýhody této výroby ozubených kol jsou malé přesnosti pro pomaluběžná ozubení, nástroj bývá uložen letmo takže je náchylný na ohyb, další nevýhodou jsou poměrně dlouhé výrobní časy a nízká produktivita práce.

6.3 Dosahované přesnosti roztečí

Největší dosažitelné přesnosti roztečí se dosahuje přímým dělením, tato přesnost se pohybuje až v tisícinách milimetru. Dělicí rohatkový kotouč je přímo upevněn k dělicímu vřetenu, se kterým se otáčí a zajištění kotouče se provádí za pomoci západky. Tento jednoduchý mechanismus zabraňuje chybám, které by mohly nastat vlivem převodových mezičlánků. Vysokou přesnost má tento způsob dělení díky velmi přesně broušeným zubům rohatky [15].

U dělicích kotoučů s dírkami, využívaných při nepřímém či diferenciálním dělení tato přesnost není tak vysoká. Dírky na dělicích kotoučích se pouze vrtají, úchytky roztečí dírek se sice zmenší šnekovým převodem v poměru 1:40, avšak přesto se přenášejí na dělicí vřeteno. K těmto úchytkám se také musí připočítat chyby vznikající vlivem vůlí šnekového soukolí, chyby stoupání závitu šneku a ložiskové vůle pohyblivých součástí, kterým nelze zabránit [15].

7 APLIKACE V PRAXI

Cílem kapitoly je srovnání výroby jednoduchého obrobku (příloha 1) frézovaného na CNC frézce a na univerzální frézce vybavené dělicím přístrojem, jedná se především o porovnání náročnosti a časů. Součást je obráběna za použití stejného průměru nástroje pro oba způsoby výroby.

Jako polotovar obrobku byla zvolena válcovaná ocelová kulatina o průměru 40 mm s upraveným povrchem, materiál oceli 11 523. Kulatina byla nařezána na pásové pile na délku 70 mm, tento polotovar byl následně obráběn níže uvedenými způsoby.

7.1 Výroba obrobku na uni. frézce vybavené dělicím přístrojem

Obrobek byl obráběn na soustruhu SV18R a tříosé univerzální konzolové frézce vybavené univerzálním dělicím přístrojem. Jelikož se jedná o čtyřhran, bude vhodnější použít dělení přímé, dosáhne se tak vyšší přesnosti dělených ploch. Byl použit dělicí západkový kotouč s 24 zářezy, pro frézování každé plošky je tedy nutné pootočit kotouč o 6 zářezů a zajistit ho západkou.

7.1.1 Použité nástroje, řezné podmínky

Použité nástroje:

- soustružnický ubírací celistvý nůž přímý s úhlem nastavení 45°, rychlořezná ocel (RO),
- válcová celistvá fréza o průměru 16 mm, rychlořezná ocel (RO).

Řezné podmínky soustružení:

• Hrubování:

řezná rychlost: $v_{c,H} = 16,5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

posuv: $f_H = 0,8 \text{ mm}$

otáčky:
$$v_{c,H} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_H}{1000} \rightarrow n_H = \frac{v_{c,H} \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{16,5 \cdot 1000}{\pi \cdot 40} = 131,3028 \text{ min}^{-1}$$

• Dokončování:

řezná rychlost: $v_{c,F} = 30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

posuv: $f_F = 1,6 \text{ mm}$

otáčky:
$$v_{c,F} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_F}{1000} \rightarrow n_F = \frac{v_{c,F} \cdot 1000}{\pi \cdot d} = \frac{30 \cdot 1000}{\pi \cdot 30,1} = 317,2524 \text{ min}^{-1}$$

Otáčky při soustružení se volí pomocí převodového kolečka, volí se nejblížejší nižší číslo otáček, poté se musí přepočítat i řezná rychlost. Jedná se o vedlejší operaci, proto tento přepočet není uveden.

Řezné podmínky frézování:• Hrubování:

řezná rychlost: $v_{c,H} = 25 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

posuv: $f_H = 420 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

otáčky:
$$v_{c,H} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_H}{1000} \rightarrow n_H = \frac{v_{c,H} \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{25 \cdot 1000}{\pi \cdot 16} = 500 \text{ min}^{-1}$$

• Dokončování:

řezná rychlost: $v_{c,F} = 40 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

posuv: $f_F = 0,01 \text{ mm}$

otáčky:
$$v_{c,F} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_F}{1000} \rightarrow n_F = \frac{v_{c,F} \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{40 \cdot 1000}{\pi \cdot 16} = 800 \text{ min}^{-1}$$

7.1.2 Postup výroby**SOUSTRUH:**

- upnout součást do sklíčidla,
- zarovnat čelo na délku 67,25 mm,
- hrubovat na průměr 30,1 mm v délce 30 mm,
- dokončit na průměr 30 mm v délce 30 mm (obr. 7.1),
- srazit hranu 2x45°,
- otočit o 180° a upnout do sklíčidla,
- zarovnat čelo na rozměr 65 mm.

FRÉZKA:

- upnout do dělicího přístroje,
- hrubovat čtyřhran na rozměry 28,38x28,38 mm,
- dokončit čtyřhran na rozměry 28,28x28,28 mm (obr. 7.2).



Obr. 7.1 Soustružení průměru 30 mm.



Obr. 7.2 Frézování čtyřhranu.

7.1.3 Strojní čas

Jelikož se tato práce zabývá dělicími přístroji, bude podstatný pouze čas potřebný pro výrobu čtyřhranu. Čas potřebný pro výrobu čtyřhranu byl stopován a zaokrouhlen přibližně na 15 min.

7.2 Výroba obrobku na CNC frézce

Obrobek byl frézován na tříosé CNC frézce Trimill vc2314, vybavené přídatným upínacím zařízením – sklíčidlem, jelikož byla použita pouze tříosá CNC frézka musel být obrobek frézován na 2 ustavení. Pro výsledný tvar obrobku bylo nutné vytvořit celkem pět jednoduchých programů, program na hrubování a dokončování pro každé ustavení, pro první upnutí také program pro sražení hrany.

7.2.1 Použité nástroje, řezné podmínky

Použité nástroje:

- hrubovací válcová celistvá fréza o průměru 16 mm, karbid (VHM)
- dokončovací válcová 4břitá celistvá fréza o průměru 16 mm, karbid (VHM)

Řezné podmínky:

- Hrubování:

$$\text{otáčky:} \quad n_H = 1313 \text{ min}^{-1}$$

$$\text{posuv:} \quad f_H = 420 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$\text{řezná rychlost:} \quad v_{c,H} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_H}{1000} = \frac{\pi \cdot 16 \cdot 1313}{1000} = 65,9986 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

- Dokončování:

otáčky: $n_F = 1592 \text{ min}^{-1}$

posuv: $f_F = 828 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

řezná rychlost: $v_{c,F} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_F}{1000} = \frac{\pi \cdot 16 \cdot 1592}{1000} = 80,0226 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

7.2.2 Postup výroby

- upnout součásti do sklíčidla,
- zarovnat čelo na délku 67,25 mm,
- hrubovat na průměr 30,1 mm v délce 30 mm,
- dokončit na průměr 30 mm v délce 30 mm,
- srazit hranu 2x45°,
- otočit součást o 180° a upnout do sklíčidla,
- zarovnat čelo na rozměr 65 mm (obr. 7.3),
- hrubovat čtyřhran na rozměry 28,38x28,38 mm,
- dokončit čtyřhran na rozměry 28,28x28,28 mm.



Obr. 7.3 Zarovnávaní čela na CNC na délku 65 mm.

7.2.3 Strojní čas

Jelikož se tato práce zabývá dělicími přístroji, bude podstatný pouze čas potřebný pro výroby čtyřhranu:

- čas přípravy programu: 7 min
- čas hrubování: 0,57 min
- čas dokončování: 0,33 min
- celkový čas: 7,9 min

7.3 Porovnání metod

Při výrobě součásti na univerzální frézce vybavené dělicím přístrojem byl naměřen čas výroby čtyřhranu cca 15 min, kdežto při výrobě součásti na CNC frézce byl tento čas téměř o polovinu nižší. Co se týče strojního času výroby, je způsob výroby součásti na CNC frézce vhodnější.

Během posuzování vhodnosti výroby však nutno vzít v potaz i náročnost této výroby. V případě výroby čtyřhranu na dělicím přístroji, je nutné součást předem soustružit, což výrazně navýší strojní čas zhruba o dalších 30 min a součást se musí přemísťovat ze stroje na stroj. Při dělení může nastat i selhání lidského faktoru, pracovník může dělicí kotouč přetočit a tím tak vyrobít zmetek. V případě výroby čtyřhranu na CNC frézce nutnost použití dvou strojů odpadá, součást lze vyrobit celou na dvě upnutí, strojní čas se zvýší zhruba o 3 min a riziko lidské chyby je zde daleko nižší. Dalším faktorem vstupujícím do volby metody je ekonomické zhodnocení. CNC frézky mají kvalitnější nástroje a tím je jejich cena vyšší, proto je nutné taky přihlídnout k tomu, zda by metoda výroby pomocí dělicího přístroje nebyla levnější. Použití CNC strojů je vhodné zejména pro větší počet kusů, při výrobě většího množství se tak zkrátí výrobní čas i o několik desítek minut.



Obr. 7.4 Vyrobená součást.

ZÁVĚR

Zadáním a problematikou této bakalářské práce bylo popsání problematiky obrábění na univerzální frézce vybavené dělicím přístrojem. V teoretické části byla probrána obecná charakteristika technologie frézování, popis nástrojů a strojů. Následně byla charakterizována CNC frézka a univerzální frézka včetně jejího příslušenství. Jedna z teoretických kapitol se zabývá charakteristikou dělicích přístrojů, které patří mezi nejpoužívanější příslušenství univerzálních frézek, výpočty jednotlivých druhů dělení a příklady výpočtů pro jednotlivá dělení. V poslední kapitole byly rozebrány jednotlivé proveditelné operace na univerzální frézce vybavené dělicím přístrojem a přesnost roztečí.

Cílem praktické části bylo srovnání použití CNC frézky a univerzální frézky vybavené dělicím přístrojem, při výrobě konkrétního výrobku za použití stejných průměrů fréz. Jako polotovar byla zvolena ocelová válcovaná kulatina s upraveným povrchem 11 523 o průměru 40 mm řezaná na délku 70 mm. Která byla následně obráběna na uvedených strojích. Při výrobě na CNC frézce, lze součást vyrobit na dvě ustavení celou, kdežto při použití dělicího přístroje se tato součást musí nejprve soustružit a až poté se na ni bude frézovat čtyřhran pomocí dělicího přístroje. Strojní čas byl měřen pomocí stopek a pro výrobu součásti na CNC frézce je výrazně kratší než při použití dělicího přístroje, proto je výroba této součásti na CNC frézce vhodnější variantou. Nutno brát v potaz také ekonomickou náročnost této výroby, při frézování na CNC frézce byla použity celokarbidové nástroje, které jsou výrazně dražší než nástroje z rychlořezné oceli použité při druhém způsobu výroby, tzn. výroba součásti na CNC frézce se jednoznačně vyplatí při sériové výrobě, dokáže zkrátit strojní čas až o desítky minut, výrobu součásti druhým způsobem je vhodné použít pouze při kusové výrobě.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
- [2] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Výrobní technologie II: [obrábění]*. 1. Brno: CERM, 2002. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství). ISBN 80-214-2189-4.
- [3] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP, Jana NOVÁKOVÁ a Lenka PETŘKOVSKÁ. *Technologie II*. 2. díl. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [4] DRÁBEK, František. *Frézování: určeno frézařům, zájemcům z řad dělníků, mistrů, technologů, dorostu a žákům prům. škol*. Praha: SNTL, 1959.
- [5] *Pilar Žilina* [online]. [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <http://www.pilar-zilina.sk/STRANA-6-OPP/Kop%EDrovacie%20stroje%20Wivamac/Kop%EDrovac%ED%20fr%E9zky%20WIVAMAC.htm>
- [6] *RAPTOR Technologies* [online]. [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://www.raptor-cnc.com/cnc-frezka.html>
- [7] ŘASA, Jaroslav, Přemysl POKORNÝ a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-7183-227-8.
- [8] *CY Manufacturing Limited* [online]. [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <https://cymanufacturing.com/cnc-milling-services/>
- [9] *ELUC: Jemné frézování* [online]. [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1383>
- [10] ŠTRAJBL, Jan. *Příručka frézaře: Určeno pro frézaře, technology a další prac. se stř. techn. vzděláním ve strojírenství*. Praha: SNTL, 1962.
- [11] *BOUKAL: E-SHOP.CZ* [online]. [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <https://www.boukal.cz/univerzalni-nastrojarska-frezka-tos-fngj-40/15374/produkt>
- [12] *TOS VARNSDORF a. s.* [online]. [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://www.tosvarnsdorf.cz/cz/produkty/prislusenstvi/frezovaci-hlavy/>
- [13] *ST COM s. r. o.: kompletní technologická řešení* [online]. [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://www.cncupinani.cz/sveraky-a-upinace/delici-zarizeni/vodorovny-otocny-stul>
- [14] *Nástrojenáradí.cz: online bazar* [online]. [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://www.nastrojenaradi.cz/obrazeci-hlava-na-frezu-fngj>

[15] SCHULZE, Walter a Bohumil MAŠEK. *Dělicí přístroje: určeno pro dělníky, mistry, techniky a inž. v praxi a pro posluchače odborných škol*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1957.

[16] ELUC: *Frézování pomocí dělicího přístroje* [online]. [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1236?PageSpeed=noscriptS>

[17] KONOP, Josef a Josef JOHÁNEK. STŘEDNÍ ODBORNÉ UČILIŠTĚ, DOMAŽLICE, PROKOPA VELIKÉHO 640. *Zlepšení podmínek pro vzdělávání: T2-5 Frézování pomocí UDP – přímé a nepřímé dělení* [online]. 2014 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: https://m.soudom.cz/files/odborny_vycvik_-_kovo_1-/vy-inovace-05.18.pdf

[18] BOUKAL: *E-SHOP.CZ* [online]. [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://www.boukal.cz/neprime-delici-zarizeni-it-150-pro-rt-150/5329/produkt>

[19] Tumlikovo: *Metal Cutting Technologies* [online]. [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/delici-pristroje-druhy-deleni/>

[20] *Strojirenstvi.cz* [online]. [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <http://www.strojirenstvi.wz.cz/image.php?subject=1&class=4&topic=58&image=0>

[21] ŠROUBY: *online.cz* [online]. [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <https://www.sroubyonline.cz/spojovací-material/matice/korunkove-matice/din-935-ocel-zinek-bily>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
CNC	-	Computer Numeric Control – počítačově řízený stroj
V_c	$m \cdot min^{-1}$	řezná rychlost
D	mm	průměr nástroje (frézy)/obrobku
n	min^{-1}	otáčky nástroje (frézy)/obrobku
V_f	$m \cdot min^{-1}$	rychlost vedlejšího pohybu
f_z	mm	posuv na zub
Z	-	počet zubů frézy
V_e	$m \cdot min^{-1}$	rychlost řezného pohybu
A_{Di}	mm^2	jmenovitý průřez třísky
h_i	mm	Jmenovitá tloušťka třísky
a_p	mm	šířka záběru ostří
φ_i	°	úhel záběru ostří
h_{max}	mm	maximální jmenovitá tloušťka třísky
φ_{max}	°	maximální úhel posuvového pohybu
H	mm	hloubka odebírané vrstvy
NC	-	Numeric Control – číslicově řízený stroj
n_k	-	počet otáček dělicí kliky pro jednu rozteč
n_v	-	počet otáček dělicí kliky pro jedno otočení dělicího vřetena
t	-	počet určených roztečí
a, b	-	počet roztečí na dělicích kotoučích
t'	-	zvolená rozteč
Z_{1-4}	-	počty zubů přídatných ozubených kol

$V_{c,H}$	$m \cdot min^{-1}$	řezná rychlost při hrubování
f_H	mm	posuv při hrubování
n_H	min^{-1}	otáčky při hrubování
$V_{c,F}$	$m \cdot min^{-1}$	řezná rychlost při finišování
f_F	mm	posuv při finišování
n_F	min^{-1}	otáčky při finišování

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1.1 Základní způsoby frézování – kinematika [2].
- Obr. 1.2 Průřez třísky při válcovém frézování (a), průřez třísky při čelním frézování (b) [3].
- Obr. 1.3 Kinematika válcového frézování [2].
- Obr. 1.4 Válcové frézování – jmenovitý průřez třísky [2].
- Obr. 1.5. Kinematika čelního frézování symetrického [2].
- Obr. 1.6. Čelní frézování – symetrické (a), nesymetrické (b) [2].
- Obr. 1.7-1.19 Nástroje [3].
- Obr. 2.1 Vodorovná konzolová frézka [2].
- Obr. 2.2 Svislá konzolová frézka [2].
- Obr. 2.3 Stolová frézka svislá [2].
- Obr. 2.4 Rovinná frézka [2].
- Obr. 2.5. Kopírovací frézka Pilar [5].
- Obr. 2.6 Rovinná portálová frézka [2].
- Obr. 2.7 CNC frézka od firmy Raptor [6].
- Obr. 3.1 Součást frézovaná na CNC frézce [8].
- Obr. 4.1 Univerzální nástrojářská frézka TOS FNGJ 40 [11].
- Obr. 4.2 Univerzální frézovací hlava TOS HUI 50 [12].
- Obr. 4.3 Otočný stůl model HHT-150 ST COM s. r. o. [13].
- Obr. 4.4 Obrážecí hlava na frézu FNGJ 20 [14].
- Obr. 5.1 Dělicí přístroj pro přímé dělení se západkovým kotoučem [16].
- Obr. 5.2 Svislý ruční dělicí přístroj pro přímé dělení [15].
- Obr. 5.3 Univerzální dělicí přístroj [15].
- Obr. 5.4 Schéma mechanismu dělicího stroje [17].
- Obr. 5.5 Nepřímé dělicí zařízení IT 150 [18].
- Obr. 5.6 Ramena na dělicím kotouči [19].
- Obr. 5.7 Schéma převodů při diferenciálním dělení [20].
- Obr. 6.1 Korunová matice s čelními drážkami [21].
- Obr. 6.2 Frézování mnohohranu na svislé frézce [17].
- Obr. 6.3 Schéma zapojení dělicího přístroje pro frézování šroubovitě drážky [10].
- Obr. 6.4 Natočení pracovního stolu při frézování pravé šroubovice [10].
- Obr. 6.5 Frézování ozubení kotoučovou frézou za pomoci dělicího přístroje [17].
- Obr. 7.1 Soustružení průměru 30 mm [vlastní tvorba].
- Obr. 7.2 Frézování čtyřhranu [vlastní tvorba].
- Obr. 7.3 Zarovnávání čela na CNC na délku 65 mm [vlastní tvorba].
- Obr. 7.4 Vyrobená součást [vlastní tvorba].

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Výrobní výkres součásti

Příloha 1

Výrobní výkres součásti

